我国四川、山东、河北省蛋鸡配合饲料中镉、铬、铅污染程度评估[1]

罗 成[1] 张军民[2] 赵青余[2] 王建萍[1] 白世平[1] 丁雪梅[1] 张克英[1] 吴彩梅[1*]

（1.四川农业大学动物营养研究所，四川省动物抗病营养重点实验室，农业部动物抗病营养与饲料重点实验室，成都 611130；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193）

摘 要：本试验旨在测定我国四川、山东、河北省（包括京津冀地区）蛋鸡养殖场产蛋高峰期配合饲料中镉（Cd）、铬（Cr）、铅（Pb）含量，评估蛋鸡养殖大省 3 种重金属污染程度。采集四川、山东、河北省 67 个养殖场 268 份蛋鸡配合饲料，采用高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱法（HR-CS FAAS）测定其 Cd、Cr、Pb 含量。结果表明：1）四川省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分别为成都、乐山、乐山，最大检出值分别为 0.48、15.94、14.12 mg/kg；Cr、Pb 含量最高超标率所在城市分别为乐山、崇州，超标率分别为 30%、50%。2）山东省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分别为青岛和日照、菏泽、日照，最大检出值分别为 0.45、5.88、4.11 mg/kg。3）河北省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分别为张家口、张家口、保定，最大检出值分别为 0.45、15.38、8.38 mg/kg；Cr、Pb 含量最高超标率所在城市分别为张家口和保定，超标率均为 20%。4）3 省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 平均含量分别为，四川：0.24、5.01、3.67 mg/kg；山东：0.26、4.19、2.61 mg/kg；河北：0.25、5.66、3.25 mg/kg。参照我国《饲料卫生标准》，3 省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量及山东省 Cd、Cr、Pb 含量均未超标；四川、河北省 Cr、Pb 含量超标率分别为 9.38%、17.19%和 6.73%、14.42%。5）河北省蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 平均含量显著高于山东省（$P<0.05$）；大规模养殖场配合饲料中 Cd、Cr、Pb 平均含量显著低于小规模养殖场（$P<0.05$）。综上所述，山东省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量均未超标。四川、河北省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量未超标，但有超标风险，Cr、Pb 含量均有不同程度超标，Pb 含量超标最为严重，应引起重视。

关键词：高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱法；蛋鸡配合饲料；重金属；镉；铬；铅

中图分类号：S816

鸡蛋作为高营养的畜禽产品，在我国产量和需求量大。目前，鸡蛋安全事故频发，如 2005 年我国苏丹红事件、2013 年美国毒鸡蛋事件以及 2014 年德国假鸡蛋事件。镉（Cd）、

收稿日期：2017-02-01

基金项目：国家科技支撑计划项目（2014BAD13B05）

作者简介：罗 成（1991—），男，重庆人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学专业研究。E-mail: 459167895@qq.com

*通信作者：吴彩梅，高级实验师，硕士生导师，E-mail: zhuomuniao278@163.com

铬（Cr）、铅（Pb）为强毒性的 3 种重金属元素，近年来，随着现代工农业发展，空气、土壤、水质中 3 种重金属严重超标，进而蓄积于农作物中，造成饲料原料中 Cd、Cr、Pb 污染。同时，为降低成本，部分商家在饲料中使用劣质矿物质，亦会造成配合饲料中 3 种重金属超标[1-2]。饲料重金属污染是鸡蛋重金属污染的主要途径，且 3 种重金属对动物和人类有严重的毒害作用，蛋鸡饲料和鸡蛋一旦受到 3 种重金属污染将很难消除。因此，评估畜禽养殖大省（四川、山东、河北省）蛋鸡养殖配合饲料中 Cd、Cr、Pb 污染情况，对 3 个省目前鸡蛋安全、养殖环节饲料质量安全评估具有重要意义。

Cd、Cr、Pb 的检测技术主要包括传统锐线光源原子吸收光谱法（AAS）[3-4]、电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)[5-6]和高分辨率连续光源原子吸收光谱法（high resolution-continuum source atomic absorption spectrometry，HR-CS FAAS）[7-9]。因传统方法不能同时测定多种元素，目前使用较少，ICP-MS 因仪器昂贵难以普及，而 HR-CS FAAS 因可同时测定多种元素，仪器成本相对较低，故应用较广。孟君等[8]采用湿法消解-火焰原子吸收光谱法测定河南省某养鸡场饲料和鸡蛋中的微量元素，测定结果表明：饲料中 Pb、Cd 的含量均超过我国《饲料卫生标准》限量，且对应的鸡蛋中 Pb、Cd 含量亦较高。原泽鸿等[5]使用 ICP-MS 测定四川省蛋鸡配合饲料及鸡蛋中的 13 种重金属含量，结果发现蛋鸡配合饲料中 Cd 含量未超过我国《饲料卫生标准》限量（0.5 mg/kg），但 Cr 和 Pb 含量（10 和 5 mg/kg）均超标，其超标率分别为 11.1%和 18.2%。涂杰峰等[10]采集福建省 19 种水产饲料共 96 个样品进行重金属含量检测，结果 Pb 含量为 0.05~3.52 mg/kg，未超过水产饲料的安全限量(5 μg/g)；Cd、Cr 含量分别为 0.08~3.05 mg/kg、1.28~20.26 mg/kg，部分样品 Cd、Cr 含量均超过水产饲料的安全限量（Cd：3 mg/kg；Cr：10 mg/kg），Cr 含量超标严重。王飞等[11]对华北地区畜禽饲料中重金属含量调查分析表明，不同畜禽养殖场饲料差异变异较大，猪饲料和肉牛饲料中重金属超标最为严重，肉鸡饲料、蛋鸡饲料及奶牛饲料次之，参照我国《饲料卫生标准》，所有畜禽样品中 Cd 含量均未超标，但 Cr、Pb 含量均有不同程度的超标现象，肉牛饲料中 Cr、Pb 含量的超标率为 83.33%、66.67%；奶牛饲料中 Cr 含量的超标率为 60.00%；蛋鸡配合饲料中 Pb 含量的超标率为 53.85%。朱建春等[12]测定陕西省 11 个地区 64 家规模化养殖场育肥猪饲料中重金属含量，结果表明，饲料中 Cd、Cr、Pb 含量均超过国家标准限量，其最高超标倍数分别为 110.86、5.44、7.67。

综上所述，饲料中重金属污染严重，且重金属在禽蛋中的蓄积有逐年增加的趋势和风险[13]。四川、山东、河北省皆为畜牧业大省，同时也是现代工业发达地区，环境污染严重，给畜禽健康养殖造成一定威胁，目前对 3 个省 3 种重金属的风险因子的地区分布图报道较少。

因此，本试验旨在采用 HR-CS FAAS 同时测定我国四川、山东、河北省蛋鸡养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量，评估蛋鸡养殖大省 3 种重金属污染程度，为蛋鸡配合饲料和鸡蛋安全评价提供数据基础。

1 材料与方法

1.1 样品采集

产蛋高峰期蛋鸡配合饲料样品采集时间：2016 年 1 月至 2016 年 8 月；地点：四川、山东、河北省（包括京津冀地区，以下统称河北省）67 个不同规模蛋鸡养殖场，每个养殖场平行采集 4 份样品，每份样品 500 g，共 268 份蛋鸡配合饲料样品。按照《饲料采样》（GB/T 14699.1-2005）[14]标准采集四川省 1 个省会城市、6 个地级市，地域涵盖四川省东、西、南、北部共 16 个不同规模蛋鸡养殖场的饲料样品 64 份；山东省 1 个省会城市、24 个地级市共 25 个不同规模蛋鸡养殖场的饲料样品 100 份；河北省 4 个地级市、2 个周边城市（天津蓟县及北京大兴、延庆地区）共 26 个不同规模蛋鸡养殖场的饲料样品 104 份。所有饲料样品均-20 ℃保存，待测。四川、山东、河北省蛋鸡配合饲料采样分布表见表 1。

表 1 四川、山东、河北省蛋鸡配合饲料采样分布表

Table 1 Sampling distribution of compound feed of laying hens in *Hebei*, *Shandong* and *Sichuan* province

省 Province	城市 City	蛋鸡养殖场 Laying hens farm/个	蛋鸡品种 Laying hens breed	养殖场规模 Farm scale/万只	蛋鸡配合饲料 Compound feed of laying hens/份
四川 *Sichuan*	成都	2	绿壳蛋鸡、海兰褐	0.2~0.7	8
	德阳	2	海兰褐	2.0~2.7	8
	绵阳	2	罗曼蛋鸡	1~100	8
	乐山	5	罗曼蛋鸡、海兰褐	1.2~10.0	20
	崇州	1	海兰褐	0.8	4
	南充	1	海兰灰	100	4
	雅安	3	罗曼蛋鸡、山地鸡	0.8~1.0	12
山东 *Shandong*	青岛	7	海兰褐	0.2~1.2	28
	烟台	4	海兰褐	0.3~4.0	16
	临沂	2	海兰褐	0.6~2.0	8
	潍坊	2	海兰褐	1.0~1.2	8
	菏泽	2	海兰褐	0.8~3.0	8
	德州	3	京粉	0.9~2.0	12
	济南	2	海兰褐	0.8~4.0	8
	日照	2	海兰褐	0.2~1.2	8
	聊城	1	海兰褐	0.7	4

河北 *Hebei*	廊坊	3	海兰褐、海兰灰	1.5~500	12
	张家口	5	海兰褐、京红	0.7~2.0	20
	保定	10	海兰褐、海兰灰	0.5~1.5	40
	高碑店	1	海兰褐	10	4
	天津	5	海兰褐	0.5~2.0	20
	北京	2	海兰褐、京红 1 号	0.5~300.0	8
合计 Total		67			268

1.2　分析方法

蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量采用 HR-CS FAAS 进行测定，具体方法如下：蛋鸡配合饲料样品经粉碎过 40 目筛，准确称取 0.5 g 于聚四氟乙烯消解罐中，加入 8 mL 硝酸（HNO_3）和 2 mL 双氧水，置于恒温加热仪预消解 30 min 后采用微波消解仪消化，用体积分数为 0.5% HNO_3 溶液定容至 25 mL 容量瓶，摇匀，待测。HR-CS FAAS 工作条件见表 2。

表 2　HR-CS FAAS 工作条件

Table 2　Working conditions of HR-CS FAAS

元素 Element	波长 Wave length/nm	火焰类型 Flame-style	燃烧器类型 Burner-style/mm	乙炔流量 Acetylene flow/(L/h)	燃烧器高度 Burner height/mm
镉 Cd	228.801 8	C_2H_2-Air	100	55	7
铬 Cr	357.869 9	C_2H_2-Air	100	100	6
铅 Pb	283.306 0	C_2H_2-Air	100	65	7

1.3　仪器和试剂

主要仪器：ContrAA-700 高分辨率连续光源原子吸收光谱仪（配备 MPE-60 自动进样器，Analytik Jena 公司，德国）；CEM-MARS6 型智能微波消解仪（美国）；BHW-09Y 型恒温加热仪（上海博通化学科技有限公司）。

主要试剂：HNO_3、30%（V/V）过氧化氢（均为优级纯，广东西陇化工）；Cd、Cr、Pb 标准溶液（1 000 μg/mL）均购自国家标准物质中心，试验时稀释至所需浓度；试验用水为纯水系统（Milipore 公司，美国）制备的 18.2 mΩ·cm 超纯水。

1.4　统计分析

采用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析，不同区域（四川、山东、河北省）及不同规模蛋鸡养殖场的蛋鸡配合饲料用 Duncan 氏法进行多重比较，以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准，结果均以平均值±标准差表示。

2　结　果

2.1 HR-CS FAAS 的分析速度、准确性和检出限

由表 3 可知，采用 HR-CS FAAS 同时测定 1 个饲料样品中 Cd、Cr、Pb 3 种元素仅需 2 h；Cd、Cr、Pb 的回收率分别为 96.0%~101.0%、98.6%~99.9%、95.4%~101.3%；检出限（LOD）分别为 1.7、19.7、34.6 ng/mL。因此，本文采用 HR-CS FAAS 准确快速，可用于蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 的测定。

表 3 HR-CS FAAS 的分析速度、准确性和检出限

Table 3 The analysis speed, recovery and LOD of HR-CS FAAS

前处理 Pre-treatment	耗时 Time/h	方法 Method	耗时 Time/min	总耗时 Total time/h	元素 Element	回收率 Recovery/%	检出限 LOD /（ng/mL）
微波消解	2	HR-CS FAAS	1	2	Cd	96.0~101.0	1.7
					Cr	98.6~99.9	19.7
					Pb	95.4~101.3	34.6

2.2 不同区域蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量分布

2.2.1 四川省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量分布

由表 4、表 5 和表 6 可知，四川省 7 个城市 64 份蛋鸡配合饲料中 Cd 含量均未超标，最大检出值所在城市为成都市。成都、德阳、乐山、雅安市蛋鸡配合饲料中 Cd 含量的最大检出值分别为 0.48、0.44、0.41、0.41 mg/kg，趋近我国《饲料卫生标准》[15]限量标准（0.5 mg/kg），有超标风险。成都、德阳、绵阳、南充、雅安市蛋鸡配合饲料中 Cr 和 Pb 含量均未超标，乐山市蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 含量均超标，超标率分别为 30%、45%，超标样品平均值分别为 13.45、8.67 mg/kg，最大检出值分别为 15.94、14.12 mg/kg；崇州市蛋鸡配合饲料中 Pb 含量超标，超标率为 50%，超标样品平均值为 5.59 mg/kg。整体来看，四川省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分别为成都、乐山、乐山市；Cr、Pb 含量最高超标率所在城市分别为乐山、崇州市。

表 4 四川省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量

Table 4 Contents of cadmium in compound feed of laying hens in *Sichuan* province

项目 Items	城市 City						
	成都 *Chengdu*	德阳 *Deyang*	绵阳 *Mianyang*	乐山 *Leshan*	崇州 *Chongzhou*	南充 *Nanchong*	雅安 *Ya' an*
样品数量 Number of tested samples/个	8	8	8	20	4	4	12
最大值 Maximum value/	0.48	0.44	0.25	0.41	0.33	0.36	0.41

（mg/kg）							
中位值 Median value/（mg/kg）	0.30	0.31	0.13	0.22	0.31	0.33	0.30
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	0.28±0.14	0.28±0.12	0.14±0.08	0.22±0.11	0.31±0.02	0.31±0.06	0.26±0.14
变异系数 CV/%	50.00	42.86	57.14	50.00	6.45	19.35	53.85
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最大值样品城市 City of maximum value sample	成都						

超标率参照我国《饲料卫生标准》，超标率=城市超过限量值的样品数/城市总样品数。表 5~表 12 同。

According to the *Notional Hygienic Standard for Feeds*, over-limit rate=number of samples exceeding the limit value of the city/total number of samples of the city. The same as Table 5 to Table 12.

表 5　四川省蛋鸡配合饲料中 Cr 含量

Table 5　Contents of chromium in compound feed of laying hens in *Sichuan* province

项目 Items	城市 City						
	成都 *Chengdu*	德阳 *Deyang*	绵阳 *Mianyang*	乐山 *Leshan*	崇州 *Chongzhou*	南充 *Nanchong*	雅安 *Ya′an*
样品数量 Number of tested samples/个	8	8	8	20	4	4	12
最大值 Maximum value/（mg/kg）	6.38	3.69	7.02	15.94	4.78	3.11	6.28
中位值 Median value/（mg/kg）	4.50	2.48	5.09	5.28	4.50	2.58	3.89
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	4.60±1.34	2.66±0.52	5.27±1.37	7.45±4.35	4.39±1.34	2.58±0.45	3.62±1.35
变异系数 CV/%	29.13	19.55	25.99	58.39	30.52	17.44	37.29
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	30	0.00	0.00	0.00
超标样品平均值 Average value of over rate samples	—	—	—	13.45	—	—	—

最大值样品城市 City of maximum value sample	乐山
最高超标率城市 City of maximum over-limit rate	乐山

表 6　四川省蛋鸡配合饲料中 Pb 含量

Table 6　Contents of lead in compound feed of laying hens in *Sichuan* province

项目 Items	城市 City						
	成都 *Chengdu*	德阳 *Deyang*	绵阳 *Mianyang*	乐山 *Leshan*	崇州 *Chongzhou*	南充 *Nanchong*	雅安 *Ya' an*
样品数量 Number of tested samples/个	8	8	8	20	4	4	12
最大值 Maximum value/（mg/kg）	4.01	4.36	3.12	14.12	5.89	3.29	2.98
中位值 Median valve/（mg/kg）	3.56	3.69	1.55	4.38	4.92	2.62	2.36
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	3.53±0.42	3.11±1.28	1.67±0.87	5.57±3.45	4.87±0.93	2.66±0.49	2.16±0.56
变异系数 CV/%	11.90	41.16	52.10	61.94	19.10	18.42	25.93
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	45.00	50.00	0.00	0.00
超标样品平均值 Average value of over rate samples	—	—	—	8.67	5.59	—	—
最大值样品城市 City of maximum value sample	乐山						
最高超标率城市 City of maximum over-limit rate	崇州						

2.2.1　山东省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量分布

由表 7、表 8 和表 9 可知，山东省 9 个城市 100 份蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量均未超过我国《饲料卫生标准》相关限量标准，重金属污染程度相对较轻。蛋鸡配合饲料中 Cd 含量最大检出值以青岛和日照市最高，皆为 0.45 mg/kg，平均值含量以烟台和日照市最

高，分别为 0.31 和 0.34 mg/kg；Cr 含量最大检出值以菏泽和德州市为最高，分别为 6.17 和 5.88 mg/kg，平均值含量以菏泽和聊城市最高，分别为 5.42 和 4.95 mg/kg；Pb 含量最大检出值以烟台和日照市为最高，分别为 3.88 和 4.11 mg/kg，平均值含量以烟台和临沂市为最高，分别为 3.14 和 3.03 mg/kg。

表 7　山东省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量

Table 7　Contents of cadmium in compound feed of laying hens in *Shandong* province

项目 Items	城市 City								
	青岛 *Qingdao*	烟台 *Yantai*	临沂 *Linyi*	潍坊 *Weifang*	菏泽 *Heze*	德州 *Dezhou*	济南 *Jinan*	日照 *Rizhao*	聊城 *Liaocheng*
样品数量 Number of tested samples/个	28	16	8	8	8	12	8	8	4
最大值 Maximum value/（mg/kg）	0.45	0.38	0.35	0.33	0.38	0.29	0.28	0.45	0.30
中位值 Median value/（mg/kg）	0.26	0.34	0.30	0.23	0.22	0.17	0.18	0.35	0.23
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	0.27±0.07	0.31±0.06	0.28±0.06	0.23±0.09	0.23±0.09	0.17±0.06	0.20±0.04	0.34±0.06	0.23±0.05
变异系数 CV/%	25.93	19.35	21.43	39.13	39.13	35.29	20.00	17.65	21.74
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最高值样品城市 City of maximum value sample	青岛、日照								

表 8　山东省蛋鸡配合饲料中 Cr 含量

Table 8　Contents of chromium in compound feed of laying hens in *Shandong* province

项目 Items	城市 City								
	青岛 *Qingdao*	烟台 *Yantai*	临沂 *Linyi*	潍坊 *Weifang*	菏泽 *Heze*	德州 *Dezhou*	济南 *Jinan*	日照 *Rizhao*	聊城 *Liaocheng*
样品数量 Number of tested samples/个	28	16	8	8	8	12	8	8	4
最大值 Maximum value/（mg/kg）	5.48	5.39	4.39	4.22	6.17	5.88	3.89	4.98	5.75

中位值 Median value/（mg/kg）	4.22	4.61	3.87	3.97	5.25	3.62	3.43	4.08	5.14
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	4.05±0.72	4.68±0.45	3.81±0.49	3.75±0.55	5.42±0.44	4.10±0.97	3.29±0.63	3.95±0.84	4.95±0.84
变异系数 CV/%	17.78	9.62	12.86	14.67	8.12	23.66	19.15	21.27	16.97
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最高值样品城市 City of maximum value sample					德州				

表 9　山东省蛋鸡配合饲料中 Pb 含量

Table 9　Contents of lead in compound feed of laying hens in *Shandong* province

项目 Items	城市 City								
	青岛 *Qingdao*	烟台 *Yantai*	临沂 *Linyi*	潍坊 *Weifang*	菏泽 *Heze*	德州 *Dezhou*	济南 *Jinan*	日照 *Rizhao*	聊城 *Liaocheng*
样品数量 Number of tested samples/个	28	16	8	8	8	12	8	8	4
最大值 Maximum value/（mg/kg）	3.56	3.88	3.65	3.87	3.10	3.21	2.68	4.11	3.09
中位值 Median value/（mg/kg）	2.52	3.27	3.28	2.97	2.13	2.13	2.04	2.73	2.33
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	2.58±0.62	3.14±0.59	3.03±0.54	2.79±0.75	2.16±0.77	2.25±0.49	2.08±0.44	2.66±1.10	2.37±0.62
变异系数 CV/%	24.03	18.79	17.82	26.88	35.65	21.78	21.15	41.35	26.16
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最高值样品城市 City of maximum value sample					日照				

2.2.1　河北省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量分布

由表 10、表 11 和表 12 可知，河北省 6 个城市 104 份蛋鸡配合饲料中 Cd 含量均未超过我国《饲料卫生标准》限量标准，最大检出值以张家口和保定市为最高，分别为 0.45 和 0.44 mg/kg，城市平均值含量由高到低依次为张家口＞保定＞高碑店＞廊坊＞天津＞北京；张家

口和保定市蛋鸡配合饲料中 Cr 含量最大检出值分别为 18.35 和 15.38 mg/kg，均超过我国《饲料卫生标准》限量标准（10 mg/kg），超标率分别为 20.00%和 7.50%，超标样品平均值为 17.44 和 13.02 mg/kg；张家口、保定和天津市蛋鸡配合饲料中 Pb 含量最大值分别为 8.02、8.38 和 7.32 mg/kg，均超过我国《饲料卫生标准》限量标准（5 mg/kg），超标率分别为 20.00%、12.50%和 15.00%，超标样品平均值分别为 7.54、6.81 和 6.43 mg/kg。与其他城市相比，张家口市配合饲料中 Cr 和 Pb 含量超标率最高，污染程度最为严重，其次为保定市。

表 10　河北省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量

Table 10　Contents of cadmium in compound feed of laying hens in *Hebei* province

项目 Items	城市 City					
	廊坊 *Langfang*	张家口 *zhangjiakou*	保定 *Baoding*	高碑店 *Gaobeidian*	天津 *Tianjin*	北京 *Beijing*
样品数量 Number of tested samples/个	12	20	40	4	20	8
最大值 Maximum value/（mg/kg）	0.39	0.45	0.44	0.30	0.30	0.24
中位值 Median value/（mg/kg）	0.23	0.27	0.26	0.27	0.20	0.21
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	0.24±0.05	0.28±0.10	0.27±0.10	0.25±0.08	0.21±0.08	0.18±0.06
变异系数 CV/%	20.83	35.71	37.04	32.00	38.10	33.33
超标率 Over-limit rate/%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最高值样品城市 City of maximum value sample	张家口					

表 11　河北省蛋鸡配合饲料中 Cr 含量

Table 11　Contents of chromium in compound feed of laying hens in *Hebei* province

项目 Items	城市 City					
	廊坊 *Langfang*	张家口 *zhangjiakou*	保定 *Baoding*	高碑店 *Gaobeidian*	天津 *Tianjin*	北京 *Beijing*
样品数量 Number of tested samples/个	12	20	40	4	20	8
最大值 Maximum value/（mg/kg）	5.67	18.35	15.38	7.88	8.47	6.70
中位值 Median value/（mg/kg）	3.82	6.13	5.36	5.02	4.58	4.63

平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	3.83±1.05	7.66±5.39	5.76±2.76	5.11±2.60	4.96±2.02	4.89±1.44
变异系数 CV/%	27.42	70.37	47.92	50.88	40.73	29.45
超标率 Over-limit rate/%	0.00	20.00	7.50	0.00	0.00	0.00
超标样品平均值 Average value of over rate samples	—	17.44	13.02	—	—	—
最高值样品城市 City of maximum value sample	张家口					
最高超标率城市 City of maximum over-limit rate	张家口					

表 12　河北省蛋鸡配合饲料中 Pb 含量

Table 12　Contents of lead in compound feed of laying hens in *Hebei* province

项目 Items	城市 City					
	廊坊 *Langfang*	张家口 *zhangjiakou*	保定 *Baoding*	高碑店 *Gaobeidian*	天津 *Tianjin*	北京 *Beijing*
样品数量 Number of tested samples/个	12	20	40	4	20	8
最大值 Maximum value/（mg/kg）	3.25	8.02	8.38	3.45	7.32	4.22
中位值 Median value/（mg/kg）	2.12	3.05	3.27	2.54	3.37	2.36
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	1.90±0.70	3.74±2.11	3.58±1.88	2.58±0.74	3.37±1.86	2.45±1.19
变异系数 CV/%	36.84	56.42	52.51	28.68	55.19	48.57
超标率 Over-limit rate/%	0.00	20.00	12.50	0.00	15.00	0.00
超标样品平均值 Average value of over rate samples	—	7.54	6.81	—	6.43	—
最高值样品城市 City of maximum value sample	保定					
最高超标率城市 City of maximum over-limit rate	张家口					

2.3　3 省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 污染情况对比

由表 13 可知，3 省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量无显著差异（*P*＞0.05），其平均含量由高到低依次为山东省＞河北省＞四川省，均未超过我国《饲料卫生标准》（0.5 mg/kg）。四川、河北省配合饲料中 Cr 含量均有超标现象，超标率分别为 9.38%、6.73%，超标样品平均值分别为 13.45、15.55 mg/kg。四川省蛋鸡配合饲料中 Cr 含量与山东和河北省无显著差异（*P*＞0.05），河北省的平均含量显著高于山东省（*P*＜0.05）。四川、河北省蛋鸡配合饲料中 Pb 平均含量亦显著高于山东省（*P*＜0.05），且均超过我国《饲料卫生标准》（5 mg/kg），超标率分别为 17.19%、14.42%，超标样品平均值分别为 8.11、6.93 mg/kg。

表 13　3 省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量比较

Table 13　Comparison of Cd, Cr and Pb in compound feed of laying hens of three provinces

页目 tems	四川省 *Sichuan* province			山东省 *Shandong* province			河北省 *Hebei* province		
	镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb	镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb	镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb
羊品数量 Number of tested amples/个	64	64	64	100	100	100	104	104	104
最大值 Maximum value/（mg/kg）	0.48	15.94	14.12	0.45	6.17	4.12	0.44	18.35	8.39
中位值 Median value/（mg/kg）	0.25	4.01	3.03	0.25	4.18	2.65	0.23	4.63	2.89
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	0.24±0.12	5.01±3.14[ab]	3.67±2.49[a]	0.26±0.08	4.19±0.84[a]	2.61±0.72[b]	0.25±0.09	5.66±3.28[b]	3.25±1.82
变异系数 CV/%	50.00	62.67	67.85	30.77	20.05	27.59	36.00	57.95	56.00
超标率 Over-limit rate/%	0.00	9.38	17.19	0.00	0.00	0.00	0.00	6.73	14.42
超标样品平均值 Average value of over-limit rate amples	—	13.45	8.11	—	—	—	—	15.55	6.93

超标率参照我国《饲料卫生标准》，超标率=省市超过限量值的样品数/省市总样品数。

According to the *Notional Hygienic Standard for Feeds*, over-limit rate=number of samples exceeding the limit value of the province and city/total number of samples of the province and city.

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下

表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.4　不同规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 污染情况

根据本次采集蛋鸡养殖场规模范围，将 3 省养殖场分为小（小于 1 万只）、中小（1~2 万）、中（2~5 万）、大（大于 10 万）4 个规模。由表 14 可知，养殖场规模不同，蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量差异较大。小、中小、中规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 含量均有超标，而大规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量均未超标。从不同规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr 平均含量来看，总体趋势为小规模养殖场＞中小规模养殖场＞中规模养殖场＞大规模养殖场，且小规模养殖场显著高于大规模养殖场（P＜0.05）；从 Pb 平均含量来看，中规模含量最高，大规模含量最低，且中、小、中小规模养殖场显著高于大规模养殖场（P＜0.05）。3 种重金属以 Pb 含量超标最高，污染最为严重，特别是中小、小规模养殖场。

表 14　不同规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量

Table 14　Contents of Cd, Cr and Pb in compound feed of laying from different scale farms

项目 Items	小规模 Small scale 镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb	中小规模 Medium small scale 镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb	中规模 Medium large scale 镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb	大规模 Large scale 镉 Cd	铬 Cr	铅 Pb
样品数量 Number of tested samples/个	112	112	112	80	80	80	48	48	48	32	32	32
最大值 Maximum value/（mg/kg）	0.49	18.35	8.39	0.45	12.67	7.44	0.44	14.08	14.12	0.36	7.88	4.03
中位值 Median value/（mg/kg）	0.27	4.39	3.25	0.29	4.37	3.01	0.21	3.95	2.59	0.22	3.80	2.26
平均值±标准差 Mean±SD/（mg/kg）	0.27±0.10^{c}	5.22±3.06^{b}	3.32±1.63^{d}	0.27±0.09^{bc}	5.00±2.06^{ab}	2.95±1.10^{cd}	0.22±0.09^{a}	4.38±2.19^{ab}	3.69±2.86^{bd}	0.20±0.09^{a}	4.15±1.50^{a}	2.18±0.96^{a}
变异系数 CV/%	0.37	0.59	0.49	0.33	0.41	0.37	0.41	0.50	0.78	0.45	0.36	0.44
超标率 Over-limit rate/%	0.00	6.25	13.39	0.00	3.75	3.75	0.00	4.17	20.83	0.00	0.00	0.00
超标样品平均值 Average value of	—	15.55	6.80	—	11.83	6.71	—	12.82	8.41	—	—	—

over-limit rate
samples

超标率参照我国《饲料卫生标准》，超标率=某规模超过限量值的样品数/某规模总样品数。

According to the *Notional Hygienic Standard for Feeds*, over-limit rate=number of samples exceeding the limit value of the scale/ total number of samples of the scale.

3 讨 论

3.1 蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 污染程度及分布

本次调查结果因地域和养殖场规模不同，蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量差异较大。四川省以乐山、崇州市蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 含量超标严重，其他城市均无超标。乐山、崇州市采集的样品主要来自小、中小规模养殖场，配合饲料原料来源复杂，饲料加工、运输技术粗糙可能为超标率高的主要原因。其次，四川省有 1 个养殖场的蛋鸡配合饲料中 Pb 含量超过美国《Mineral Tolerance of Animals》限量标准（10 mg/kg），主要原因可能为所使用的配合饲料原料、添加剂等劣质，养殖户自配料操作过程不规范。工业相对发达的成都、德阳、绵阳市等地蛋鸡配合饲料中 3 种元素均未超标，重工业少的雅安市散养蛋鸡配合饲料 3 种重金属含量低。整体看，四川省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量的超标率分别为 0%、9.38%、17.19%，与原泽鸿等[5]采用 ICP-MS 测定四川省蛋鸡产蛋期配合饲料中 Cd、Cr 含量的超标率（Cd：0%；Cr：11.1%）相比，基本一致；而 Pb 的超标率本研究结果为 9.38%，大于原泽鸿等[5]的 0%，可能与样品数量差异大以及样品来源有关，原泽鸿等[5]饲料样品主要来自规模化的饲料厂商，而本次调查所采用的饲料样品主要来自中、小规模个体养殖户。

山东省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量检出率为 100%，但均未超标，相对四川、河北污染较轻。山东省采样规模仍然以中小规模为主，但 3 种元素均未超标，分析原因可能为山东饲料行业发展特点决定。主要特点为：一是自配料市场逐渐缩小；二是 20%左右的小旧企业被淘汰，行业总体素质大幅提升；三是大型企业借低势扩张势头不减；四是受原料价格低、养殖形式普遍恢复的利好带动，中小企业效益普遍向好。另外，山东省环境状况公报显示，山东省环境污染主要以大气污染和水体污染为主，全省城市大气污染物为可吸入颗粒物，平均占污染负荷的 40%左右，其次为二氧化硫，占污染负荷的 30%左右，而重金属污染相对较轻[16]。

河北省蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 含量超标的主要城市为张家口和保定市，这可能因畜禽养殖场主要集中在张家口和保定市，畜禽粪便中重金属流入土壤、水造成环境污染，进而蓄积在饲料原料中，造成恶性循环[17]，同时为化工业重点发展区域，环境中土壤[18]、水[19]、

空气受到不同程度污染也是可能原因之一；而环境污染严重的北京市样本未超标可能为采集的样本为较大规模蛋鸡养殖场，养殖场分布于生态涵养保护区和城市发展新区的缘故。王飞等[11]报道，华北地区（包含山东、河北省）蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量的超标率分别为 0%、34.86%、53.85%，高于本研究山东、河北省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量的超标率（山东省均无超标；河北省 Cd、Cr、Pb 含量超标率分别为 0%、6.73%、14.42%），可能因华北区域包含广，样品来源复杂，部分样品来自污染区以及近 2 年监管部门对蛋鸡配合饲料中重金属的监管力度加大有关。

3 个省综合对比，山东省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量均未超过我国《饲料卫生标准》限量标准，污染较轻，但四川、河北省配合饲料中 Cr、Pb 含量均有不同程度超标，污染严重，且显著高于山东省，且本次调查结果发现 3 省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量均未超标，污染较轻，但最大检出值均接近我国《饲料卫生标准》限量标准（0.5 mg/kg），有超标风险，与原泽鸿等[5]、涂杰峰等[10]、王飞等[11]调查结果基本一致。Cr、Pb 含量在四川、河北省蛋鸡配合饲料中均有不同程度超标，这可能与四川、河北省样品主要来自于中、小型养殖场，以及环境中土壤、水中重金属含量高有关[18-20]。

本次调查亦发现不同规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量由高到低大致趋势为小规模养殖场＞中小规模养殖场＞中规模养殖场＞大规模养殖场，且大规模养殖场显著低于小规模养殖场。小、中小规模养殖场与大规模养殖场相比，饲料原料没有科学化、规模化的来源途径，导致配合饲料从源头上受到重金属污染严重。其次，由于中小型养殖场配合饲料多数为自配自给，矿物质添加剂的过量添加也会造成重金属污染。而整个配合饲料加工、运输、保管过程中机械、器皿的使用不当也是造成重金属污染的原因之一。

3.2　蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 可能污染来源

蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 污染来源广泛，动、植物性饲料原料和矿物质添加剂为主要来源。动物性饲料原料包括骨粉、皮革蛋白粉和鱼粉中都含有过量的 Cd、Cr、Pb，特别是掺杂使假的鱼粉[21-22]。植物性饲料原料主要包括玉米、玉米副产物、小麦、干酒糟及其可溶物（DDGS）、棉籽粕等能量饲料和蛋白质饲料，陈甫等[23]和柏雪等[24]分别对山东省肉鸡饲料原料和全国各地区饲料原料中微量元素进行调查，结果表明：不同饲料原料中 Cd、Cr、Pb 含量均有不同程度超标，且 Cr 和 Pb 含量在部分饲料原料中超标严重，特别是玉米和麦麸等饲料原料。矿物质添加剂添加过量，亦会造成饲料中 Cd、Cr、Pb 的污染[25]，如饲料级磷酸盐是配合饲料中 Cr 的主要来源，饲料级脱氟磷酸盐和磷酸二氢钙的平均 Cr 含量分别达到 110 和 83 mg/kg[1]，而饲料级硫酸铜中的 Pb 含量可达 640 mg/kg[2]。同时，随着现代工农

业发展，特别是采矿和冶炼重工业地区肆意排放未经处理的废气[26]、废水[27]、废渣，以及农业生产中农药、化肥的滥用[27-28]都会造成饲料原料中 Cd、Cr、Pb 污染。此外，饲料原料加工过程中机械、器皿使用不当也是饲料中 Cd、Cr、Pb 污染的主要来源之一[28]。

3.3　蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 污染的危害

Cd、Cr、Pb 对人和动物毒害作用呈多系统和多器官性，具有致癌、致畸、致突变的作用[29]。Cd 进入动物体内缓慢蓄积而引起慢性中毒，主要损害动物肾小管的重吸收功能，引起蛋白尿、氨基酸尿和糖尿，同时 Cd 中毒也可降低蛋鸡的生产性能、免疫能力以及蛋品质[29-31]。Cr 在动物体内以 Cr^{3+}和 Cr^{6+}形式存在，Cr^{3+}可协助胰岛素发挥作用，为糖和胆固醇代谢所必需，但 Cr^{6+}对动物有毒害作用，可影响动物体内氧化、还原、水解过程，沉淀核酸、核蛋白，干扰酶系统等[32]。操继越[33]研究发现，低剂量的 Cr（＜10 mg/kg）可促进产蛋，提升蛋品质（提高蛋品厚度和强度），高剂量的 Cr（＞600 mg/kg）可显著降低孵化率，且造成肝脏、肾脏受损。Pb 中毒主要损害动物造血器官和肾脏，对呼吸、免疫和胚胎发育也有一定的毒害作用[34]。Pb 是蛋鸡体内非必需元素，具有较强的蓄积性和毒性，高剂量的 Pb（100 mg/kg）可降低蛋鸡活体重、胴体重、净膛新鲜胴体重以及抗氧化能力和蛋品质，影响肝脏和血清中脂肪酸的形成[35-36]。Jeng 等[37]研究发现，蛋鸡饮用 1.3 mg/kg Cd、6.7 mg/kg Pb 的水，其体重、产蛋量、蛋重均显著降低。饲料中 Cd、Cr、Pb 含量蓄积于鸡蛋被人类食用之后，会导致婴儿及青少年智力发育迟缓，听力退化，损伤其肾功能和心血管系统[38-39]。本次调查研究发现，四川、山东、河北省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量虽未超标，但已接近限量值，长期摄入蓄积量大，危害严重。四川、河北省蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 含量均有不同程度超标，超标率分别为四川：9.38%、17.19%；河北：6.73%、14.42%。同时亦发现，小规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量显著高于大规模养殖场。因此，蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 的污染应引起 3 省饲料厂商和监管部门的高度重视，定期抽检蛋鸡配合饲料及鸡蛋中 Cd、Cr、Pb 含量势在必行。此外，配合饲料原料来源比较复杂，不同批次的蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量可能存在一定差异，因此，需进一步采集并分析不同批次 3 省的蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量，进一步明确 3 省蛋鸡配合饲料中 3 种重金属的动态污染及分布规律。

4　结　论

① 四川省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分别为成都、乐山、乐山，最大检出值分别为 0.48、15.94、14.12 mg/kg，Cr、Pb 含量最高超标率所在城市分别为乐山、崇州，超标率分别为 30%、50%。山东省 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分

别为青岛和日照、菏泽、日照，最大检出值分别为 0.45、5.88、4.11 mg/kg。河北省 Cd、Cr、Pb 含量最大检出值所在城市分别为张家口、张家口、保定，最大检出值分别为 0.45、15.38、8.38 mg/kg，Cr、Pb 含量最高超标率所在城市分别为张家口和保定，超标率均为 20%。

② 3 省蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 平均含量分别为，四川：0.24、5.01、3.67 mg/kg；山东：0.26、4.19、2.61 mg/kg；河北：0.25、5.66、3.25 mg/kg。参照我国《饲料卫生标准》，3 省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量及山东省 Cd、Cr、Pb 含量均未超标；四川、河北省 Cr、Pb 含量超标率分别为，四川：9.38%、17.19%；河北：6.73%、14.42%。河北省蛋鸡配合饲料中 Cr、Pb 平均含量显著高于山东省。山东省蛋鸡配合饲料污染较轻，受检样品中 Cd、Cr、Pb 含量均未超标，四川、河北省蛋鸡配合饲料中 Cd 含量未超标，但有超标风险，Cr、Pb 含量均有不同程度超标，Pb 含量超标最为严重，应引起重视。

③ 不同规模养殖场蛋鸡配合饲料中 Cd、Cr、Pb 含量差异较大，大规模养殖场显著低于小规模养殖场。

致谢：感谢四川农业大学动物营养研究所万建美和万海峰博士，山东中慧饲料有限公司王亮，河北金朝生物科技有限公司亓宏伟博士对蛋鸡养殖场采样给予的帮助。

参考文献：

[1] SULLIVAN T W,DOUGLAS J H,GONZALEZ N J.Levels of various elements of concern in feed phosphates of domestic and foreign origin[J].Poultry Science,1994,73(4):520–528.

[2] MARÇAL W S,GASTE L,LIBONI M,et al.Concentration of lead in mineral salt mixtures used as supplements in cattle food[J].Experimental and Toxicologic Pathology,2001,53(1):7–10.

[3] 陈朝琼,房晨,艾应伟,等.微波消解/AAS 测定铁路岩石边坡创面人工土壤中的重金属含量[J].光谱学与光谱分析,2013,33(8):2215–2218.

[4] KÜÇÜKBAY FZ,KUYUMCU E.Determination of elements by atomic absorption spectrometry in medicinal plants employed to alleviate common cold symptoms[J].Spectroscopy and Spectral Analysis,2014,34(9):2548–2556.

[5] 原泽鸿,黄选洋,张克英,等.四川省蛋鸡配合饲料及鸡蛋重金属含量分布[J].动物营养学报,2015,27(11):3485–3494.

[6] SUKRAN A O,MEHMET Y.Examination of correlation between histidine and cadmium absorption by *Eleagnus angustifolia* L.,*Vitis vinifera* L. and *Nerium oleander* L. using HPLC-MS and ICP-MS[J].Spectroscopy and Spectral Analysis,2016,36(2):588–592.

[7] FILHO V R A,NETO J A G.Different lubricating oil treatments for the determination of Cu,Cr,Fe,Ni,Sb,Pb,and Zn by HR-CS FAAS[J].Analytical Letters,2008,41(9):1555–1570.

[8] 孟君,赵耀光.火焰原子光谱法测定饲料和不同种类鸡蛋中的微量元素[J].粮食与饲料工业,2014,4(4):54–56.

[9] LIU H,CHEN S L,LI C,et al.Sequence determination of Cd and Pb in honey by incomplete digestion-high resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry[J].Applied Mechanics & Materials,2014,511–512:22–27.

[10] 涂杰峰,罗钦,伍云卿,等.福建水产饲料重金属污染研究[J].中国农业通报,2011,27(29):76–79.

[11] 王飞,邱凌,沈玉君,等.华北地区饲料和畜禽粪便中重金属质量分数调查分析[J].农业工程学报,2015,31(5):261–267.

[12] 朱建春,李荣华,张增强,等.陕西规模化猪场猪粪与饲料重金属含量研究[J].农业机械学报,2013,44(11):98–104.

[13] 2014 年无公害农产品(畜牧业产品)检测目录技术评估建议-四川省饲料工作站总结[Z].2014-11-18.

[14] 国家标准化管理委员会.GB/T 14699.1–2005 饲料采样[S].北京:中国标准出版社,2005.

[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB 13078–2001 饲料卫生标准[S].北京:中国标准出版社,2004.

[16] 张红.山东省能源消耗与环境污染现状及对策分析[J].山东社会科学,2008(6):113–116.

[17] 姚丽贤,李国良,党志.集约化养殖禽畜粪中主要化学物质调查[J].应用生态学报,2006,17(10):1989–1992.

[18] 邓静秋,韩雪,张良,等.河北省地表水重金属环境健康风险评价[J].河北农业科学,2014,18(3):85–88.

[19] 茹淑华,耿暖,张国印,等.河北省典型蔬菜产区土壤和蔬菜中重金属累积特征研究[J].生态环境学报,2016,25(8):1407–1411.

[20] 金立新,侯青叶,杨忠芳,等.四川德阳地区农田生态系统重金属健康风险评价[J].地学前缘,2008,15(5):47–56.

[21] 周德庆,李晓川.我国渔用饲料生产、质量现状与对策[J].海洋水产研究,2002,23(1):79–83.

[22] 黎修全.浅析动物源性饲料产品安全及卫生质量评价指标[J].饲料工业,2008,29(19):57–62.

[23] 陈甫,朱风华,徐丹,等.2015 年山东省肉鸡饲料原料中重金属污染情况调查及风险评估[J].动物营养学报,2016,28(10):3175–3182.

[24] 柏雪,原泽鸿,王建萍,等.四川省常用能量饲料和蛋白质饲料中重金属分布研究[J].动物营养学报,2016,28(9):2847–2860.

[25] JOMOVA K,VALKO M.Advances in metal-induced oxidative stress and human disease[J].Toxicology,2011,283(2/3):65–87.

[26] TIAN H Z,ZHU C Y,GAO J J,et al.Quantitative assessment of atmospheric emissions of toxic heavy metals from anthropogenic sources in China:historical trend,spatial distribution,uncertainties,and control policies[J].Atmospheric Chemistry and Physics,2015,15(17):10127–10147.

[27] ZHOU X W,QU X Y,ZHAO S G,et al.Analysis of 22 elements in milk,feed,and water of dairy cow,goat,and buffalo from different regions of China[J].Biological Trace Element Research,2016,176(1):120–129.

[28] 薛书民.饲料中重金属超标的危害[J].农业与技术,2013,33(6):156–157.

[29] 陈大伟,高玉时,唐修君,等.铅、镉联合暴露对蛋鸡生产性能、蛋品质及鸡蛋中微量元素含量的影响[J].动物营养学报,2014,26(6):1616–1623.

[30] SKOCZYŃSKA A,WRÓBEL J,ANDRZEJAK R.Lead-cadmium interaction effect on the responsiveness of rat mesenteric vessels to norepinephrine and angiotensin Ⅱ[J].Toxicology,2001,162(3):157–170.

[31] SALOVSKY P,SHOPVA V,DANCHEVA V,et al.Combined effects of cadmium and lead on some bio-chemical markers in rat bronchoalveolar lavage fluid[J].Toxicology Letters,1995,78(S1):73.

[32] 郑宗林,黄朝芳,廖三赛.重金属对鱼类的危害及污染防治[J].中国饲料,2003(15):23–24.

[33] 操继越.铬对鸡体液免疫、繁殖性能的影响及口服铬剂后生物利用度、残留与毒性的研究[D].博士学位论文.武汉:华中农业大学,2004.

[34] 孙德文,詹勇,许梓荣.重金属对鱼类的危害作用[J].水产养殖,2002(5):38–42.

[35] KNOWLES S O,DONALDSON W E,Dietary modification of lead toxicity:effects on fatty acid and eicosanoid metabolism in chicks[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part

C:Comparative Pharmacology,1990,95(1):99–104.

[36] HOSSAIN M A,AKANDA M R,MOSTOFA M,et al.Therapeutic competence of dried garlic power (*Allium sativum*) on biochemical parameters in lead (Pb) exposed broiler chickens[J].Journal of Advanced Veterinary and Animal Research,2014,1(4):189–195.

[37] JENG S L,LEE S J,LIU Y E,et al.Effect of lead ingestion on concentrations of lead in tissues and eggs of laying Tsaiya ducks in *Taiwan*[J].Poultry Science,1997,76(1):13–16.

[38] ATARO A,MCCRINDLE R I,BOTHA B M,et al.Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)[J].Food Chemistry,2008,111(1):243–248.

[39] SALMA I,MAENHAUT W,DUBTSOV S,et al.Impact of phase out of leaded gasoline on the air quality in Budapest[J].Microchemical Journal,2000,67(1/2/3):127–133.

Contamination of Cadmium, Chromium and Lead in Compound Feed of Laying Hens in *Sichuan*, *Shandong* and *Hebei* Province

LUO Cheng[1] ZHANG Junmin[2] ZHAO Qingyu[2] WANG Jianping[1] BAI Shiping[1] DING Xuemei[1] ZHANG Keying[1] WU Caimei[1*i]

(1. *Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition and Feedstuffs of China Ministry of Agriculture, Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Sichuan Province, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Chengdu* 611130*, China*; 2. *Institute of Animal Sciences of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193*, China*)

Abstract: The aim of this experiment was to determine the contamination of cadmium (Cd), chromium (Cr) and lead (Pb) in the compound feed of laying hens in *Sichuan*, *Shandong* and *Hebei* (included *Beijing*, *Tianjin* and *Hebei*) provinces, to evaluated the heavy metal pollution degree in 3 laying hens breeding big province. The contents of Cd, Cr and Pb in 268 samples from 67 farms in *Sichuan*, *Shandong* and *Hebei* provinces were determined by high resolution-continuum source flame atomic absorption spectrometry (HR-CS FAAS). The results showed as follows: 1) the maximum detection values of Cd, Cr and Pb content in the compound feed of laying hens in *Sichuan* province were 0.48, 15.94 and 14.12 mg/kg, which maxed in the cities of *Chengdu*, *Leshan* and *Leshan*, respectively; and the over-limit rates of Cr and Pb content

were highest in the cities of *Leshan* and *Chongzhou,* with the values of 30% and 50%, respectively. 2) The maximum detection values of Cd, Cr and Pb content in the compound feed of laying hens in *Shandong* province were 0.45, 5.88 and 4.11 mg/kg in the cities of *Qingdao* and *Rizhao, Heze, Rizhao*, respectively. 3) The maximum detection values of Cd, Cr and Pb content in the compound feed of laying hens in *Hebei* province were in the cities of *Zhangjiakou*, *Zhangjiakou* and *Baoding,* with the values of 0.45, 15.38 and 8.38 mg/kg, respectively; and the over-limit rates of Cr, Pb content were 20%, which in the cities of *Zhangjiakou* and *Baoding.* 4) The average contents of Cd, Cr and Pb in compound feeds of laying hens in *Sichuan*, *Shandong* and *Hebei* provinces were 0.24, 5.01 and 3.67 mg/kg; 0.26, 4.19 and 2.61 mg/kg; 0.25, 5.66 and 3.25 mg/kg, respectively. The contents of Cd, Cr and Pb in the compound feed of laying hens in *Shandong* province did not exceed the *Notional Hygienic Standard for Feeds*, and the content of Cd in three provinces did not exceed the *Notional Hygienic Standard for Feeds*. However, the over-limit rates of Cr and Pb in *Sichuan* province were 9.38% and 17.19%, and those in *Heibei* province were 6.73% and 14.42%, respectively. 5) The average contents of Cr and Pb in the compound feed of laying hens in *Heibei* and *Shandong* provinces were significantly higher than those in *Sichuan* province ($P<0.05$). The average contents of Cd, Cr and Pb in the compound feed of laying hens in large scale farm were significantly lower than those in small scale farm ($P<0.05$). In summary, the contents of Cd, Cr and Pb in the compound of laying hens of *Shandong* province do not exceed the standard. The content of Cd in *Heibei* and *Sichuan* provinces do not exceed the standard, but there is excessive risk, the Cr and Pb contents are exceed its limits levels in *Heibei* and *Sichuan* provinces, and the Pb content is exceeded the most serious, which should pay more attention in future.

Key words: HR-CS FAAS; compound feed of laying hens; heavy metal; Cd; Cr; Pb

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: zhuomuniao278 @163.com (责任编辑 武海龙)